

# Zum Zerfall von Ga<sup>65</sup>

## I. Halbwertzeit und $\beta$ -Spektrum

Von H. DANIEL

Aus dem Institut für Physik im Max-Planck-Institut für medizinische Forschung, Heidelberg  
(Z. Naturforsch. 12 a, 363—365 [1957]; eingegangen am 13. März 1957)

Der Zerfall von Ga<sup>65</sup> ( $15,2 \pm 0,2$  min) wurde mit einem magnetischen Linsenspektrometer untersucht. Das  $\beta^+$ -Kontinuum wurde in die folgenden Gruppen aufgelöst: ( $2,237 \pm 0,015$ ) MeV (15%); ( $2,113 \pm 0,020$ ) MeV (56%); ( $1,39 \pm 0,04$ ) MeV (19%) und ( $0,82 \pm 0,08$ ) MeV (10%). Eine Gruppe von 2,5 MeV wurde nicht gefunden (Intensität < 0,2%).

Der Zerfall von Ga<sup>65</sup> ist wiederholt untersucht worden, ohne daß sich bisher ein Zerfallschema angeben ließ. Die Grenzenergie des  $\beta^+$ -Spektrums wurde nach der Absorptionsmethode durch KOESTER<sup>1</sup> zu ( $2,1 \pm 0,1$ ) MeV und durch ATEN u. a.<sup>2,3</sup> zu ( $1,9 \pm 0,2$ ) MeV bestimmt. CRASEMANN<sup>4</sup> fand mit einem Linsenspektrometer zwei  $\beta$ -Komponenten von ( $2,1 \pm 0,1$ ) MeV (90%) und ( $2,52 \pm 0,05$ ) MeV (10%).  $\gamma$ -Linien von ( $53,8 \pm 0,5$ ) keV und ( $117,0 \pm 1,0$ ) keV wurden von VALLEY und McCREARY<sup>5</sup> beobachtet; eine weitere Linie von ( $92 \pm 4$ ) keV wurde von CRASEMANN<sup>6</sup> gefunden. Als Halbwertzeit werden angegeben: 15,0 min<sup>7</sup>, ( $15 \pm 1$ ) min<sup>1</sup> und 15 min<sup>6</sup>. CRASEMANN<sup>6</sup> teilt außerdem die Existenz einer  $\beta^+$ -Aktivität von ( $8,0 \pm 0,5$ ) min Halbwertzeit

mit, die er einem isomeren Zustand von Ga<sup>65</sup> zuschreibt.

Für die im folgenden beschriebene Untersuchung standen chemisch abgetrennte Gallium-Quellen zur Verfügung; die Herstellung ist in Teil II (nachstehende Arbeit) beschrieben.

### 1. Bestimmung der Halbwertzeit

Um bei der Bestimmung der Halbwertzeit die Störung durch andere Gallium-Isotope weitgehend auszuschalten, wurde der Abfall der Aktivität im Linsenspektrometer<sup>8</sup> mit einem Szintillationszähler als Detektor<sup>9</sup> bei 1,83 MeV Positronenenergie gemessen. Die Energiediskriminierung am Szintilla-

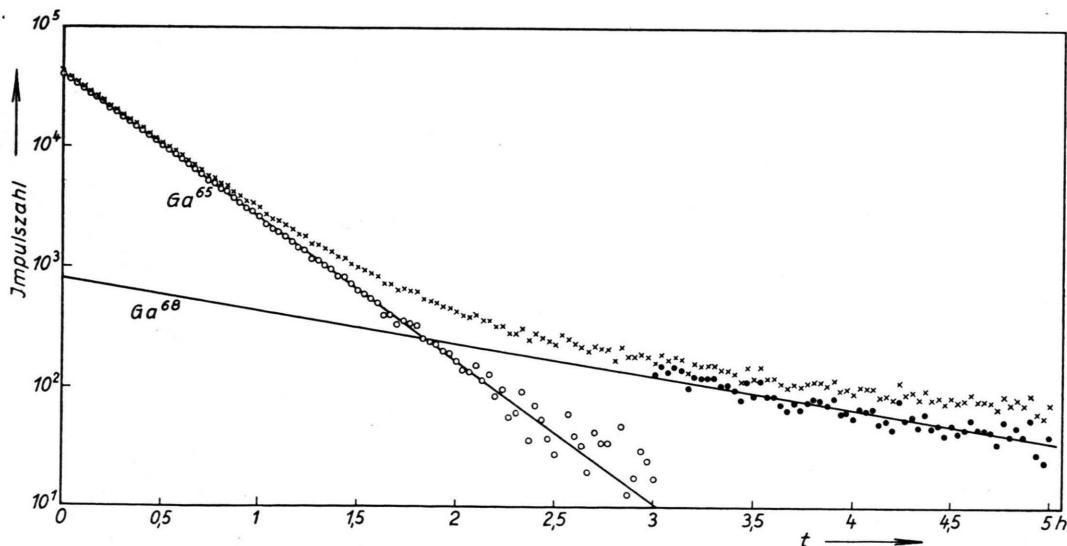


Abb. 1. Bei 1,83 MeV gemessene Abfallkurve einer Gallium-Quelle. Die Meßpunkte zur Fixierung des langlebigen Untergrundes sind fortgelassen. Kreuze: gemessene Impulszahl, Punkte: Ga<sup>68</sup>-Anteil, Kreise: Ga<sup>65</sup>-Anteil.

<sup>1</sup> L. KOESTER, Z. Naturforsch. 9 a, 104 [1954].

<sup>2</sup> A. H. W. ATEN, H. DE WIJS u. M. BOELHOUWER, Physica 18, 1032 [1952].

<sup>3</sup> A. H. W. ATEN, Physica 22, 288 [1956].

<sup>4</sup> B. CRASEMANN, Phys. Rev. 90, 995 [1953].

<sup>5</sup> G. E. VALLEY u. R. L. McCREARY, Phys. Rev. 56, 863 [1939].

<sup>6</sup> B. CRASEMANN, Phys. Rev. 93, 1034 [1954].

<sup>7</sup> M. L. POOL, Physica 18, 1304 [1952].

<sup>8</sup> H. DANIEL u. W. BOTHE, Z. Naturforsch. 9 a, 402 [1954].

<sup>9</sup> H. DANIEL, Z. Naturforsch. 12 a, 194 [1957].



tionszähler war dabei so eingestellt, daß alle Impulse oberhalb des Minimums der Auflösekurve<sup>9</sup> gezählt wurden. Abb. 1 zeigt den wesentlichen Teil der gemessenen Abfallkurve; weitere Meßpunkte dienten zur Fixierung des langlebigen Untergrundes. Als Resultat ergab sich eine Halbwertzeit von  $(15,2 \pm 0,2)$  min für das  $\text{Ga}^{65}$ ; der angegebene Fehler ist, wie stets in dieser Arbeit, die geschätzte Fehlergrenze.

Eine Gallium-Aktivität von 8 min Halbwertzeit wurde bei keiner Messung beobachtet.

## 2. $\beta$ -Spektrum

Das  $\beta^+$ -Kontinuum wurde mit dem magnetischen Linsenspektrometer<sup>8</sup> aufgenommen, als dessen Detektor ein Szintillationszähler diente; Anordnung und Meßverfahren sind früher angegeben worden<sup>9</sup>.

Abb. 2 zeigt die FERM-Zerlegung des energiereichen Endes des Spektrums in zwei Komponenten. Eine Gruppe von 2,5 MeV wurde nicht gefunden. Wie weitere Messungen zeigten, kann eine solche Komponente in höchstens 0,2% aller Zerfälle des  $\text{Ga}^{65}$  (15 min) auftreten.

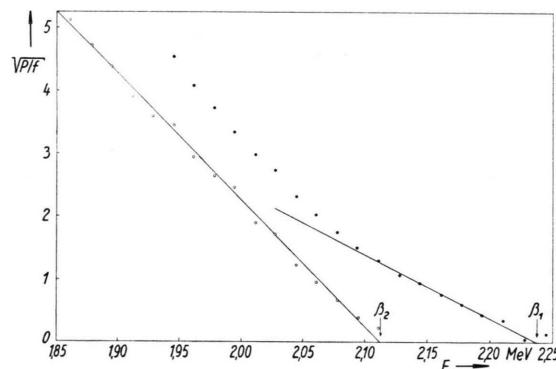


Abb. 2. FERM-Zerlegung des energiereichen Endes des  $\beta$ -Spektrums von  $\text{Ga}^{65}$ .

Bei der Ausmessung des Spektrums unterhalb 1,9 MeV war die stets mitvorhandene Aktivität des  $\text{Ga}^{68}$  (68 min)<sup>10</sup> zu berücksichtigen. Abb. 3 zeigt eine Meßkurve. Aufgetragen ist die Impulszahl pro Meßpunkt als Funktion von Spulenstrom und Zeitdauer seit Meßbeginn. Die gemessene Intensität wurde, für jeden Wert des Spulenstroms einzeln, nach der Methode der kleinsten Quadrate in  $\text{Ga}^{65}$ - und  $\text{Ga}^{68}$ -Anteil zerlegt. Abb. 4 zeigt die FERM-

Analyse des  $\text{Ga}^{65}$ -Anteils aus den in Abb. 3 dargestellten Kurven; die zwei energiereichen Komponenten konnten bei dieser Messung natürlich nicht getrennt werden.

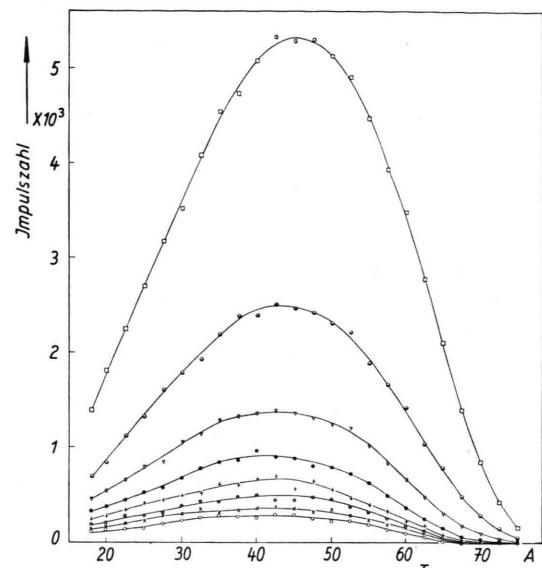


Abb. 3.  $\beta$ -Kontinuum einer Gallium-Quelle. Aufgetragen: Impulszahl pro Meßpunkt gegen Spulenstrom. Gemessen wurde wiederholt von großen zu kleinen Stromwerten fortschreitend. Zeitdifferenz zwischen zwei Meßpunkten stets 1 min. Meßpunkte zur Fixierung des langlebigen Untergrundes fortgelassen.

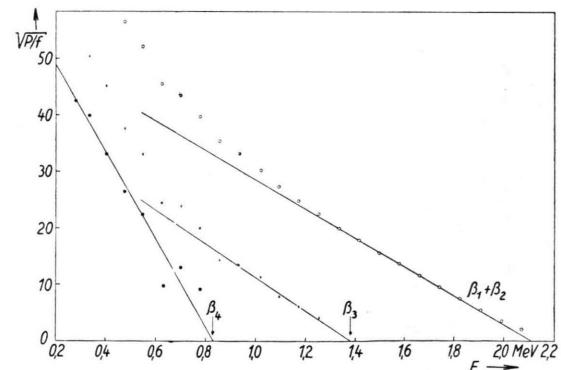


Abb. 4. FERM-Zerlegung des  $\text{Ga}^{65}$ -Kontinuums.

Die gemittelten Ergebnisse aller Messungen am  $\beta^+$ -Kontinuum des  $\text{Ga}^{65}$  sind in Tab. 1 zusammengestellt. Spalte 3 enthält den Anteil der jeweiligen Komponente am  $\beta^+$ -Zerfall, Spalte 4 den Anteil des jeweiligen Übergangs ( $\beta^+$ - und Einfangintensität) am Gesamtzerfall. Als Einfanganteil wurden die theoretischen Werte für K-Einfang genommen<sup>11</sup>.

<sup>10</sup> K. WAY, R. W. KING, C. L. MCGINNIS u. R. VAN LIESHOUT, Nuclear Level Schemes,  $A=40$  bis  $A=92$ , Washington 1955.

<sup>11</sup> E. FEENBERG u. G. TRIGG, Rev. Mod. Phys. **22**, 399 [1950].

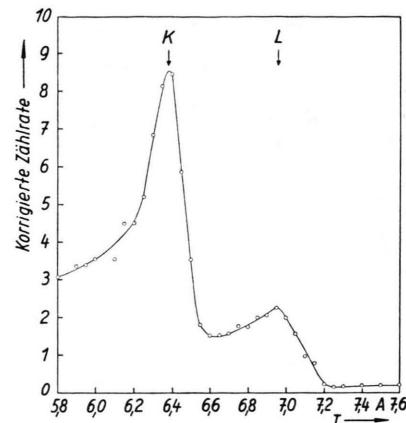
1	2	3	4	5
	Grenzenergie (MeV)	Intensität pro $\beta^+$ (%)	Intensität pro Zerfall (%)*	$\log ft$
	(2,5)	< 0,2	< 0,2	> 7,7
$\beta_1$	$2,237 \pm 0,015$	$15 \pm 2$	13	5,8
$\beta_2$	$2,113 \pm 0,020$	$56 \pm 3$	49	5,1
$\beta_3$	$1,39 \pm 0,04$	$19 \pm 6$	19	4,7
$\beta_4$	$0,82 \pm 0,08$	$10 \pm 4$	19	4,1

Tab. 1.  $\beta^+$ -Gruppen des Ga<sup>65</sup> (\* siehe Text).

Die Grenzenergie des mitgemessenen  $\beta^+$ -Kontinuums des Ga<sup>68</sup> ergab sich zu  $(1,88 \pm 0,02)$  MeV.

Ferner wurden die Konversionslinien des 53-keV-Übergangs mit dem Linsenspektrometer aufgenommen. Als Detektor fand hier ein Endfensterzählrohr Verwendung. Abb. 5 zeigt die auf zeitlichen Abfall und Zählerfensterabsorption korrigierte Zählrate als Funktion des Spulenstroms. Man erkennt die K- und L-Konversionslinien einer  $\gamma$ -Strahlung von  $(53,0 \pm 0,6)$  keV (Konversion in Zink vorausgesetzt). Rückdiffusion und Selbstabsorption erklären die energiearmen Ausläufer der Linien. Das Verhältnis K-Konversion zu (L+M)-Konversion beträgt etwa 3,8. Das Intensitätsverhältnis zwischen Konversions-elektronen des 53-keV-Übergangs und Positronen liegt bei 0,1. Als Halbwertzeit für den Abfall der Konversionslinien wurden  $(15 \pm 3)$  min gefunden.

Sichere Werte der theoretischen K/L-Verhältnisse für den 53-keV-Übergang liegen nicht vor. Der Vergleich mit ähnlichen Fällen<sup>10</sup> und mit den Daten

Abb. 5. K- und L-Konversionslinien der  $\gamma$ -Strahlung von 53 keV.

von GOLDHABER und SUNYAR<sup>12</sup> lässt jedoch die Interpretation der 53-keV-Strahlung beim Ga<sup>65</sup> als Quadrupol- oder allenfalls M 3-Übergang gerechtfertigt erscheinen. Auf jeden Fall ist Dipolcharakter auszuschließen. Der Übergang muß also hochkonvertiert sein und tritt deshalb insgesamt in etwa 10% aller Ga<sup>65</sup>-Zerfälle auf.

Herrn Prof. W. BOTHE † schulde ich für sein fördern-des Interesse, das er stets an meiner Arbeit genommen hat, herzlichen Dank. Herrn Dr. U. SCHMIDT-ROHR sei für die Durchführung der Bestrahlungen am Zyklotron und Herrn Dr. MAYER-KUCKUK für die chemischen Trennungen gedankt. Für die Untersuchung wurden Apparate der Deutschen Forschungsgemeinschaft mitbenutzt.

<sup>12</sup> M. GOLDHABER u. A. W. SUNYAR, Phys. Rev. **83**, 906 [1951].

## Zum Zerfall von Ga<sup>65</sup>

### II. $\gamma$ -Spektrum und Koinzidenzmessungen

Von TH. MAYER-KUCKUK

Aus dem Institut für Physik im Max-Planck-Institut für medizinische Forschung, Heidelberg  
(Z. Naturforschg. **12 a**, 365—367 [1957]; eingegangen am 13. März 1957)

Im  $\gamma$ -Spektrum von Ga<sup>65</sup> wurden mit einem Szintillationsspektrometer Linien von  $(118 \pm 3)$  keV,  $(738 \pm 6)$  keV,  $(906 \pm 8)$  keV,  $(1378 \pm 30)$  keV und  $(1858 \pm 30)$  keV gefunden. Ferner wurden Koinzidenzmessungen mit zwei Szintillationsspektrometern ausgeführt. Ein vorläufiges Zerfallschema wird angegeben.

Um ein Zerfallschema für das Ga<sup>65</sup> zu gewinnen, wurden Messungen am  $\gamma$ -Spektrum sowie  $\gamma - \gamma$ - und  $\beta - \gamma$ -Koinzidenzmessungen durchgeführt, die im folgenden beschrieben sind. Messungen am  $\beta^+$ -Spek-

trum werden von DANIEL<sup>1</sup> in der vorstehenden Arbeit mitgeteilt (hier kurz als „I“ zitiert). Dort finden sich auch Angaben über die früheren Messungen an diesem Isotop.

<sup>1</sup> H. DANIEL, Z. Naturforschg. **12 a**, 363 [1957], voranstehend.

## 1. Herstellung der Quellen

Zur Herstellung der Präparate wurde reine Zinkfolie mit Deuteronen von etwa 7 MeV im Heidelberger Zyklotron bestrahlt und anschließend in 5-n. Salzsäure gelöst. Nach Abfiltrieren ungelöster Reste und Zugabe von etwas Cu- und Ga-Träger wurde die Lösung mit dem gleichen Volumen Äther durchgeschüttelt und dann im Scheide-trichter von der Ätherfraktion getrennt. Der Äther wurde nochmals mit 5-n. Salzsäure gewaschen, abgetrennt, mit einem Faltenfilter von Wasserresten befreit und schließlich im Heißluftstrom unter einem Ultrarotstrahler auf der Trägerfolie für die Messung eingedampft. Es wurden Galliumpräparate mit einer Anfangsaktivität der Größenordnung  $10 \mu\text{C}$  erhalten. Die Beimengung an anderen Galliumisotopen, vor allem Ga<sup>68</sup>, betrug etwa ein Viertel der Gesamtaktivität.

## 2. $\gamma$ -Spektrum

Das  $\gamma$ -Spektrum wurde mit einem Szintillationspektrometer, bestehend aus einem NaJ(Tl)-Kristall (44 mm Durchmesser, 51 mm Höhe)<sup>2</sup>, untersucht. Die Registrierung erfolgte entweder oszillographisch nach der Graukeilmethode oder mit einem Einkanal-diskriminator. Einige Spektren konnten mit einem 120-Kanal-Impulshöhenanalysator nach HUTCHINSON<sup>3</sup> aufgenommen<sup>4</sup> werden. Die mit dem Einkanal-diskriminator gewonnenen Spektren wurden auf den zeitlichen Abfall des Präparates, alle Spektren auf den Untergrund an anderen Galliumisotopen korrigiert. Abb. 1 zeigt eine typische Kurve. Zur Abschätzung der  $\gamma$ -Intensitäten pro Zerfall wurden die

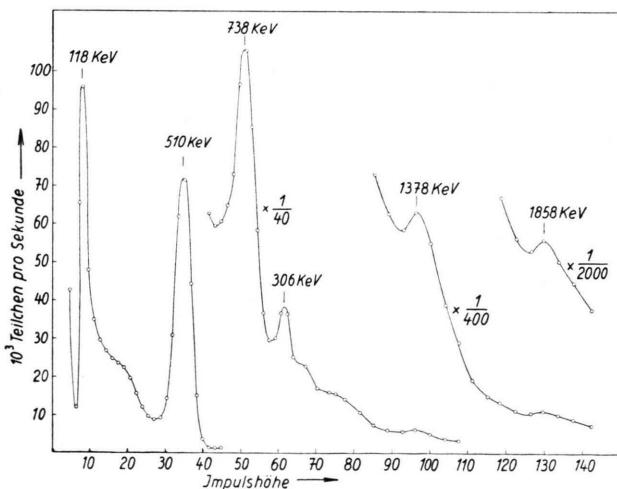


Abb. 1.  $\gamma$ -Szintillationsspektrum von Ga<sup>65</sup>.

<sup>2</sup> Bezogen von Harshaw Chem. Comp. Cleveland, Ohio, USA.

<sup>3</sup> G. W. HUTCHINSON u. G. G. SCARROTT, Phil. Mag. **42**, 792 [1951].

<sup>4</sup> Im Institut gebaut von Herrn K. MÜLLER.

Präparate mit einem Aluminiumabsorber für die Positronen umgeben. Dann wurde die Intensität der einzelnen  $\gamma$ -Linien relativ zur Intensität der Vernichtungsstrahlung bestimmt durch Vergleich der Flächen unter den Photolinien und Korrektion auf die Energieabhängigkeit des Bruchteiles der Quanten, die zur Photolinie im Impulsspektrum beitragen<sup>5</sup>. Die Halbwertzeit von 15 min wurde für jede Linie gesondert geprüft.

Tab. 1 enthält die gemittelten Ergebnisse aller Messungen. In Spalte 2 stehen die Intensitäten pro  $\beta^+$ -Zerfall, in Spalte 3 die Intensitäten pro Gesamtzerfall. Als Einfanganteil wurden die theoretischen Werte für K-Einfang genommen<sup>6</sup>.

1	2	3
Energie (keV)	Quanten pro $\beta^+$	Quanten pro Zerfall*
53,0 $\pm$ 0,6 **		
118 $\pm$ 3	(0,65 $\pm$ 0,2)	0,52
510	2	1,64
738 $\pm$ 6	(0,14 $\pm$ 0,07)	0,11
906 $\pm$ 8	(0,013 $\pm$ 0,008)	0,01
1378 $\pm$ 30	(0,06 $\pm$ 0,05)	0,05
1858 $\pm$ 30	< 0,01	< 0,01

Tab. 1.  $\gamma$ -Energien und Intensitäten.  
\* vgl. Text, \*\* siehe I, Ziff. 2.

Die 53-keV- $\gamma$ -Linie konnte im Szintillationsspektrum nicht sicher identifiziert werden. Ihre Intensität ist jedenfalls klein. Die von CRASEMANN<sup>7</sup> mitgeteilte Linie von 94 keV konnte nicht gefunden werden.

## 3. Koinzidenzmessungen

Zur Klärung des Zerfallschemas wurden  $\gamma - \gamma$ - und  $\beta - \gamma$ -Koinzidenzmessungen mit einer früher beschriebenen Anordnung von zwei NaJ-Szintillationspektrometern<sup>8</sup> unternommen, bei der die Koinzidenzen oszillographisch registriert werden durch Abbildung als Punkte, deren Koordinaten den Impulshöhen der koinzidierenden Strahlen proportional sind. Abb. 2 \* zeigt eine Aufnahme nebst dem zugehörigen Eichspektrum als Beispiel. Abb. 3 gibt das insgesamt erhaltene  $\gamma - \gamma$ -Koinzidenzmuster schematisch wieder. Aus den Aufnahmen ersieht man sofort, daß die  $\gamma$ -Linien von 117 keV und von 738 keV miteinander koinzidieren. Außerdem sind, wenn auch

<sup>5</sup> M. J. BERGER u. J. DOGGET, Rev. Sci. Instrum. **27**, 269 [1956].

<sup>6</sup> E. FEENBERG u. G. TRIGG, Rev. Mod. Phys. **22**, 399 [1950].

<sup>7</sup> B. CRASEMANN, Phys. Rev. **93**, 1034 [1954].

<sup>8</sup> TH. MAYER-KUCKUK, Z. Naturforschg. **11a**, 627 [1956].

\* Abb. 2 a - c auf Tafel S. 366 a.

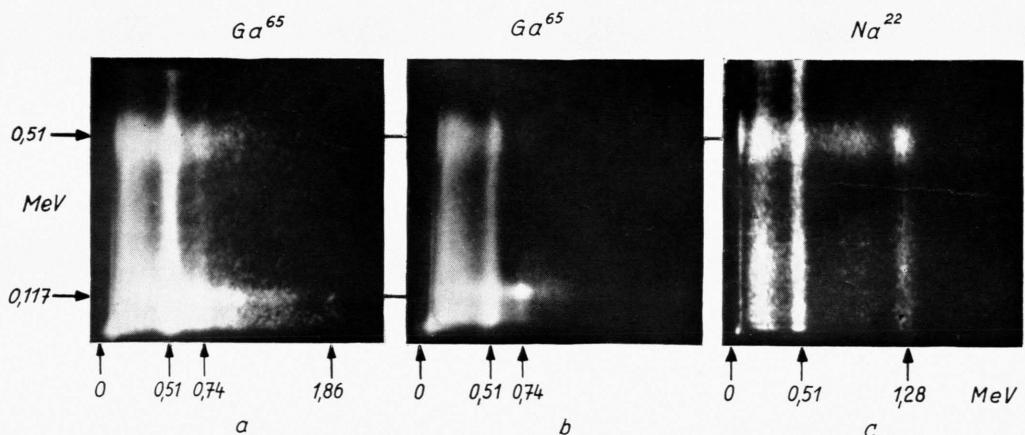


Abb. 2. a, b)  $\gamma-\gamma$ -Koinzidenzaufnahme von  $Ga^{65}$ . Zwei verschiedene Kopien des gleichen Negativs. c)  $Na^{22}$ -Eichspektrum.